디지털 카메라용 이미지 안정화 시스템 제어

Control for Optical Image Stabilization System in Digital Cameras

조 주 연, 조 우 종, 박 정 호, 김 경 수*
(Ju-yeon Cho, Woo-jong Cho, Jung-ho Park, and Kyung-soo Kim)

Abstract: As high quality image is required for digital cameras in recent use, the image stabilization technique has drawn much attention to prevent image degradation from shaky disturbance by users. In this paper, the optical image stabilization (OIS) system for DSLR (Digital Single Lens Reflex) camera is considered. First, the analytic model of an OIS system is presented to demonstrate the mechanism of image destabilization due to unknown disturbance that causes blurry images on CCD sensor. Then, to enhance the stabilization performance, a sliding mode control based on the min-max nonlinear control is introduced. Through the experiments and simulations, the effectiveness of the proposed method will be verified.

Keywords: OIS (Optical Image Stabilization) system, PID control, min-max control

I. 서론

디지털 카메라가 대중화되면서 많은 사람들이 다양한 환경에서 촬영하게 되는데, 셔터 속도에 비해 광량이 충분하지 못하여 셔터가 상당한 시간 동안 열려 있을때 카메라가 흔들리게 되면 이미지 번짐 현상이 발생하게 된다. 또한 IT가 발달하면서 이미지 센서의 성능이 높아지고 있다. 즉, 센서의 픽셀 간격이 줄어들면서 작은 손떨림에 의해서도 이미지의 품질이 나빠진다. 이러한 사람의 손떨림 현상을 보상해 줄 수 있는 기술이 주목을 받고 있는데 그것이 바로 이미지 안정화 (IS: Image Stabilization) 기술이다.

손떨림을 비롯한 어떠한 흔들림이 고화질의 이미지를 얻지 못하는 원인이 되므로 광학기구에 IS 기술이 많이 적용되어왔다. 실례로, 디지털 일안 리플렉스 렌즈(DSLR) 카메라[2]와 휴대폰 내장 카메라[3], 광학 망원경[4,5] 등에 사용되었고, 각각의 시스템에 적절한 제어기를 사용해서 시뮬레이션 결과와 실험 결과를 보여주었다. 또한 IS 기술에는 빛 번짐 현상을 소프트웨어를 사용하여 이미지를 처리하는 방법과 이미지 센서를 이동시켜서 보정하는 방법[7], 구동기가 렌즈 세트 내부에 설치되어 있는 보정 렌즈를 제어하는 방법 (OIS: Optical Image Stabilization) 등이 있다.

본 연구에서는 여러 가지 적용 시스템 중 DSLR 카메라를 선택하였고, 이미지 안정화 기술로서는 보정렌즈 제어방법인 OIS 기술을 적용하였다. 지금까지 연구되었던 기술 적용 방법과 실험 과정을 살펴보면 다양한 주파수를 가진 신호에 대한 결과가 아닌 어느 특정 주파수의 신호에 대한 결과만을 보여주었다. 하지만 손떨림 신호에는 수 Hz부터 약 20Hz까지의 주파수 영역의 크기가 복합적으로 조합되어 신호가 발생하게 된다. 또한 사진을 촬영하는 순간에 셔터버튼을 누르게 되는데, 이때 상당히 큰 흔들림이 발생한다. 따라서 어느 특정 주파수의 신호에 대한 결과를 분석하는 것보다 실제 손떨림 신호를 측정하여 그 신호를 구현하고 그 결과를 분석하는 것이 더 적당하다. 그리고 OIS 시스템 제어 기법으로 대부분 선형 제어기를 사용하였지만 이 제어기는 짧은 시간에 급격하게 변동하는 카메라 렌즈의 각도를 제어하기에는 충분하지 못하다. 선형 제어기법에 더하여 비선형 제어기법을 추가하여 제어를 함으로써 보다 빠르고 정밀한 제어가 가능하다.

본 논문에서는 특정 주파수의 신호가 아닌 실제 카메라 사용자의 손떨림 신호를 측정하고, OIS 시스템을 제어하는 기법으로 비선형 제어기법 중 하나인 Min-Max 제어기법을 사용하여 시뮬레이션 결과를 분석하고, 대표적인 선형 제어기법인 PID 제어기와 서로 비교하여 본다.

II 장에서는 이미지 안정화 기술을 적용할 OIS 시스템을 분석하고, 제어기법과 시뮬레이션 결과를 III 장에서 기술한다. 마지막으로 IV 장에서 결론을 제시하도록 한다.

II. OIS 시스템 분석

1. OIS 시스템 구성

OIS 시스템은 그림 1과 같이 내부에 보정렌즈가 스프링과 댐퍼로 고정되어있다. 구동기가 x축과 y축 방향으로 힘이 작용할 때 각각의 축간의 간섭이 발생하지 않도록 설계되어있

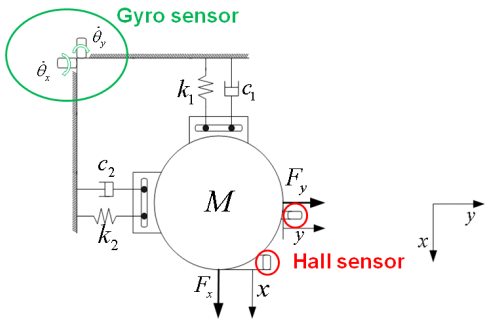

그림 1. OIS 시스템 기구부 모델링.
Fig. 1. The modeling of the OIS system.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2009. 10. 31., 수정: 2010. 1. 21., 채택확정: 2010. 2. 4.
조주연, 김경수: KAIST 기계공학부
(juyeoncho@kaist.ac.kr/kyungsookim@kaist.ac.kr)
조우종, 박정호: 삼성디지털이미징 렌즈개발그룹
(cwjong@samsung.com/jung_ho.park@samsung.com)
※ 본 연구는 지경부와 한국산업기술재단의 전략기술인력양성사업과 두뇌한국(BK21) 사업 및 삼성디지털이미징㈜의 지원에 의하여 연구되었음.
※ 상기 논문은 KACC2009 학술대회에서 초안이 발표되었습니다.

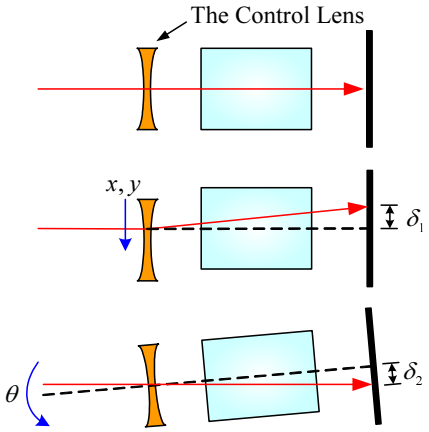

그림 2. 광학적 이미지 안정화 시스템 개요.
Fig. 2. Structure of optical image stabilization system.

다고 가정하면, 다음의 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} m\ddot{x} + c_1\dot{x} + k_1 x = F_x \\ m\ddot{y} + c_2\dot{y} + k_2 y = F_y \end{aligned} \tag{1}$$

여기서 m 은 보정렌즈의 질량, c_1 과 c_2 는 각 축 방향의 댐핑계수, k_1 및 k_2 는 스프링계수, F_x 와 F_y 는 각각의 축 방향으로 설치된 구동부의 힘을 나타낸다. 카메라 렌즈 세트에 자이로(gyro) 센서를 부착하여 사람의 손떨림, 또는 어떠한 원인으로 원하지 않는 흔들림의 정도를 각속도로 측정하였고, 보정렌즈에 부착된 홀(hall) 센서로부터 실시간으로 보정렌즈의 위치를 알 수 있도록 하였다.

2. 초점 번짐 현상 원인 분석 및 제어 목표

OIS 시스템을 제어하기 위해서 카메라가 흔들림으로 인해서 발생하는 초점 번짐 현상의 원인을 파악하고 분석하여 제어 목표를 정해야 한다. 그림 2에서 보정렌즈의 움직임에 따라 이미지 센서에 δ_1 만큼 상의 초점이 이동하게 되고, 카메라가 흔들리면서 렌즈가 회전한 각도 θ 에 의해서 δ_2 만큼 상의 초점이 이동하게 된다. 이것으로 보아 손떨림에 의해서 상의 초점이 흔들리게 되는 것은 보정렌즈의 움직임과 카메라 렌즈의 움직임에 의한 것으로 판단할 수 있다. 따라서 이 두 가지의 원인을 조합하여 수식으로 표현하면 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \delta_x &= \alpha_d x + \alpha_\theta \theta_x \\ \delta_y &= \beta_d y + \beta_\theta \theta_y \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 δ_x 와 δ_y 는 손떨림에 의해 발생되는 이미지 센서에 맺히는 상의 초점 이동 거리를 나타내고, x 와 y 는 보정렌즈가 각각의 축으로 이동한 거리를, 그리고 θ_x 와 θ_y 는 렌즈가 회전한 각도를 나타낸다. 또한 α_d 와 α_θ, β_d 와 β_θ 는 각각 x 축과 y 축에 대한 광학 경로에 의해 결정되는 시스템 변수이다.

카메라가 흔들리더라도 이미지 센서에 맺히는 상의 초점이 이동하지 않도록 제어하기 위해 δ_x 와 δ_y 가 0이 되도록 다음과 같이 제어 기준 신호를 생성한다.

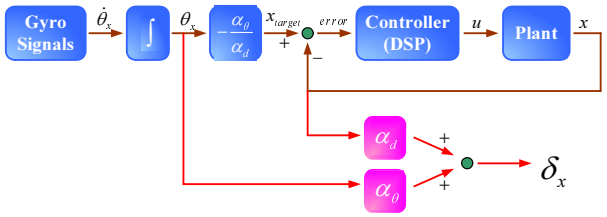

그림 3. OIS 시스템 블록도 (x축).
Fig. 3. OIS system block diagram (x-axis).

$$\begin{aligned} x_{target} &= -\frac{\alpha_\theta}{\alpha_d}\theta_x \\ y_{target} &= -\frac{\beta_\theta}{\beta_d}\theta_y \end{aligned} \tag{3}$$

여기서 x_{target} 과 y_{target} 은 렌즈의 회전 각도에 따라서 각각의 축 방향으로 보정렌즈가 이동해야 하는 위치를 나타낸다.

그림 3은 OIS 시스템 전체의 블럭도를 그린 것이다. 자이로 센서를 통해서 카메라 렌즈가 회전한 각속도를 측정할 수 있고 각속도를 한번 적분하면 각도이기 때문에 이 자이로 센서 신호를 한번 적분하면 시스템 제어에 필요한 각도 θ_x, θ_y 를 얻을 수 있다. 식 (3)에 의해서 각도 θ_x, θ_y 에 일정한 계수를 곱하면 보정렌즈가 움직여야 할 위치 x_{target} 과 y_{target} 을 얻을 수 있다. Hall 센서 신호로부터 얻을 수 있는 현재 보정렌즈의 위치 x 또는 y 와 보정렌즈가 움직여야 할 위치 x_{target} 또는 y_{target} 의 차이가 0이 되도록 제어기를 설계한다. 이 제어기에서 출력되는 신호에 의해서 보정렌즈가 움직이면 홀 센서에서 새로운 신호가 발생하게 된다. 이 과정이 feedback 되도록 OIS 시스템을 구성하였다.

III. 제어기법 및 시뮬레이션 결과

1. Min-Max 제어기법

앞서 서술된 OIS 시스템의 안정화 제어기를 설계하기 위하여, 제어시스템의 추종오차로 표현되는 시스템을 다음에서 유도한다. 이를 위해, 다음과 같은 추종오차를 정의하기로 한다.

$$e = x_{target} - x \tag{4}$$

식 (1) 및 식 (4)로부터 다음과 같은 시스템 동역학 식을 얻을 수 있다.

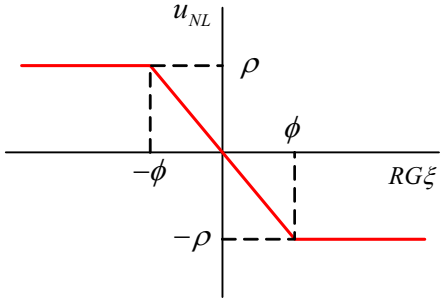

그림 4. Min-Max 제어기의 비선형항 입력 신호.
Fig. 4. Nonlinear term input signal of min-max controller.

$$\dot{\xi} = A\xi + Bu + Fd$$
$$= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\frac{k_1}{m} & -\frac{c_1}{m} \end{bmatrix} \xi + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{m} \end{bmatrix} u + \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{1}{m} \end{bmatrix} d \quad (5)$$

여기서 $\xi^T = [e \quad \dot{e}]$ 이고, 시스템의 외란은 다음과 같다.

$$d = -m\ddot{x}_{target} - c_1\dot{x}_{target} - k_1 x_{target} \quad (6)$$

여기서 등가 외란 d의 크기는 다음과 같이 한정된다고 가정한다.

$$\rho \geq |d(t)|, \ \forall t \geq 0 \quad (7)$$

그리고 외란의 최대 한정 값 ρ 는 이미 알고 있는 값이다.

식 (5)에서 볼 수 있듯이, 제어기준입력이 외란으로 작용하는 것을 알 수 있다. 또한 등가적인 외란은 제어입력의 유효공간(range space)에 존재하므로 입력정합조건 (input matching condition)을 만족함을 알 수 있다.

그림 3에서 볼 수 있듯이, 제어기준입력 (x_{target}) 은 자이로 신호를 적분해서 얻어지는 값으로 이미 알고 있는 값이나, 2차 미분을 통해 외란 (6)을 계산하기에는 측정잡음의 영향으로 어려움이 있다. 또한 시스템 파라메터(즉, m, c_1, k_1) 는 불확실성을 포함하고 있으므로 식 (6)을 통한 외란의 계산은 불확실할 수 밖에 없다. 이러한 이유로 본 연구에서는 외란의 크기 정보만을 이용하고 급격한 외란의 변화에 빠르게 대응할 수 있는 Min-Max 제어기법[9]에 근거한 새로운 제어기를 설계하기로 한다.

본 연구에서 제안하는 제어 입력은 선형항(u_L) 과 비선형항(u_{NL}) 의 합으로 다음과 같이 이루어 진다.

$$u = u_L + u_{NL} \quad (8)$$

여기서 각각의 제어입력은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{cases} u_L = -G\xi \\ u_{NL} = \begin{cases} -\frac{\rho}{\phi} RG\xi & \left(\|RG\xi\| \leq \phi\right) \\ -\rho \frac{RG\xi}{\|RG\xi\|} & \left(\|RG\xi\| > \phi\right) \end{cases} \end{cases} \quad (9)$$

여기서 ϕ 는 빠른 응답을 보이는 비선형 특성을 나타내기 위한 스위칭입력조건 (switching condition)을 결정하는 파라메터로써 이것의 적절한 설정이 매우 중요하다. ϕ 가 작을수록 비선형입력의 효과가 커지게 되고, 반대로 ϕ 가 커질수록 비선형입력의 효과가 줄어든다.

또한 제어기인자는 임의로 주어진 대칭 행렬 $Q = Q^T \geq 0$, $R = R^T > 0$ 에 대해, 다음의 Riccati 부등식

$$A^T P + PA + Q - PBR^{-1}B^T P < 0 \quad (10)$$

을 만족하는 행렬 $P > 0$ 에 대해, 다음과 같이 주어진다.

$$G = R^{-1}B^T P \quad (11)$$

식 (10)에서 볼 수 있듯이, 외란이 존재하지 않을 경우, 선형제어입력은 선형2차 최적제어(linear quadratic optimal control)의 해를 갖게 된다. 반면 외란이 존재하고 외란의 최대값을 알 수 있을 경우에는 비선형 제어입력에 의해 외란에 대한 빠른 응답을 보일 수 있다.

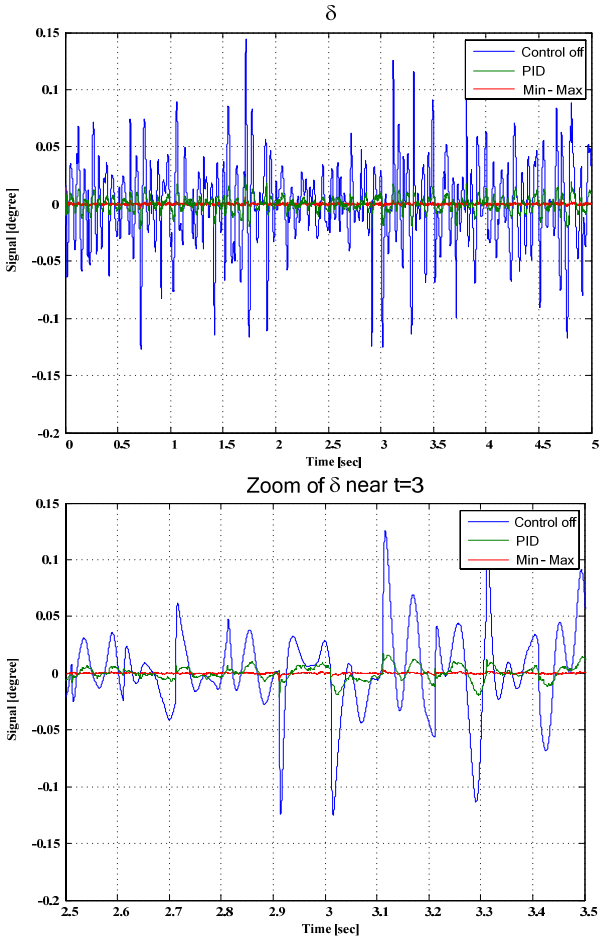

그림 5. 시뮬레이션 결과 및 부분 확대 그래프.
Fig. 5. Simulation result and expanded graph.

2. 시뮬레이션 결과

OIS 시스템에 Min-Max 제어기의 성능을 비교 판단하기 위하여 PID 제어기를 사용하여 시뮬레이션을 한 결과가 그림 5이다. 제어기를 사용하지 않았을 때의 그래프를 살펴보면 약 3초에서 큰 흔들림이 발생한 것으로 보아 그 때에 사용자가 셔터버튼을 눌렀고 그 시점에서 제어기의 성능을 판단할 수 있다. PID 제어기를 적용시켰을 때에는 노이즈의 영향을 많이 받고 셔터버튼이 눌러졌을 때 여전히 상당한 움직임을 보여준다. 반면에 Min-Max 제어기는 노이즈의 영향도 작게 받고 갑자기 큰 외란이 발생하여도 크게 흔들리지 않는 경향을 보여준다.

IV. 결론

본 논문에서는 광학적 이미지 안정화 시스템을 효과적으로 제어하기 위하여, Min-Max 제어기법을 새로이 제안하였다. 시뮬레이션을 통하여, 제안된 제어기 와 기존의 상용화된 PID 제어기의 성능을 비교하였다. 또한 특정한 주파수가 아닌 사용자의 손떨림 신호를 측정하고 그것을 사용하여 제어

를 함으로써 보다 더 현실성이 있는 제어기 성능을 판단할 수 있었다. 노이즈 영향과 함께 짧은 시간에 갑자기 발생하는 큰 신호의 외란을 처리하여 제어하는 부분에서는 Min-Max 제어기법이 매우 우수함을 보였다.

참고문헌

[1] D. Sachs, S. Nasiri, and D. Goehl, “Image stabilization technology overview,” Available: http\\:www.InvenSense.com.

[2] S. Hayakawa, “Design of image stabilizing optical system,” *International optical design conference*, *Proc. of SPIE*, vol. 3482, 1998.

[3] J. H. Moon and S. Y. Jung, “Implementation of an embedded image stabilization control system for a small digital camera,” *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering*, vol. 13, no. 12, pp. 1160-1166, Dec. 2007.

[4] T. Shimizu, S. Nagata, C. Edwards, T. Tarbell, Y. Kashiwagi, K. Kodeki, O. Ito, H. Miyagawa, M. Nagase, S. Inoue, K. Kaneko, Y. Sakamoto, K. Ichimoto, S. Tsuneta, S. Miki, M. Endo, M. Tabata, T. Nakaoji, K. Matsuzaki, K. Kobayashi, M. Otsubo, Y. Suematsu, K. Kumagai, M. Noguchi, T. Tamura, and M. Nakagiri, “Image stabilization system on SOLAR-B solar optical telescope,” *Proc. of SPIE, Optical, Infrared, and Millimeter Space Telescopes*, vol. 5487, 2004.

[5] R. D. Mcclure, W. A. Grundmann, W. N. Rambold, J. M. Fletcher, E. H. Richardson, and J. R. Stilburn, “An image-stabilization, high-resolution camera for the Canada-France-Hawaii telescope,” *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 101, pp. 1156-1165, 1989.

[6] H. Hamano, “Image stabilizing optical system,” *Proc. of SPIE*, vol. 4487, pp. 94-102. 2001.

[7] H. C. Yu and T. S. Liu, “Design of a slim optical image stabilization actuator for mobile phone cameras,” *Physica status solidi*, no. 12, 2007.

[8] 조주연, 조우종, 박종호, 김경수, “디지털 카메라용 이미지 안정화 시스템의 Min-Max 제어기법,” 한국자동제어학술회의 논문집(KACC 2009), pp. 431-434, 2009.

[9] S. Gutman, Uncertain dynamical systems - a Lyapunov min-max approach, *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. AC-24, no. 3, pp. 437-443, 1979.

조 주 연

2006년 한양대학교 기계공학부 졸업. 2008년~현재 KAIST 대학원 기계항공시스템공학부 기계공학전공 석사과정 재학중. 관심분야는 비선형제어, 카메라 렌즈 제어.

조 우 종

1990년 한양대학교 정밀기계과(공학사). 1992년 KAIST 정밀공학과(공학석사). 1997년 KAIST 기계공학과(공학박사). 1997년~현재 삼성디지털이미징 렌즈개발그룹 수석연구원. 관심분야는 카메라 렌즈 제어, 측정학.

박 정 호

1988년 동아대학교 전자공학과(공학사). 1988년~현재 삼성디지털이미징 렌즈개발그룹. 관심분야는 카메라 렌즈 제어, 측정학.

김 경 수

1993년 KAIST 기계공학과(공학사). 1995년 KAIST 기계공학과(공학석사). 1999년 KAIST 기계공학과(공학박사). 1999년~2003년 ㈜LG전자 디지털미디어연구소 책임연구원. 2003년~2004년 STMicroelectronics Co. Ltd. Multimedia Technology Center R&D Manager. 2005년~2007년 한국산업기술대학교 기계공학과 교수. 2007년~현재 KAIST 기계항공시스템공학부 기계공학전공 교수. 관심분야는 Robust control, Sliding mode control, Robot manipulator 및 구동기 설계.